

AJUSTAMENTO DE REDES GPS EM CONFORMIDADE COM AS EXIGÊNCIAS DA LEI 10.267/2001¹

HELOÍSA ALVES DA SILVA
JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO

Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP
R. Roberto Simonsen 305, 19060 900 - Presidente Prudente - São Paulo
heloh2o@gmail.com; galera@fct.unesp.br

RESUMO

No Brasil, várias têm sido as aplicações do GPS e, com o advento da Lei 10.267/2001, a qual, dentre outras disposições, trata do georreferenciamento de imóveis rurais, mais uma aplicação foi adicionada a já extensa lista. No entanto, a maioria dos *softwares* comerciais de processamento e ajustamento de dados GPS não permite aos usuários avaliar de forma confiável os seus resultados. Como por exemplo, as injunções são, em geral, utilizadas de forma absoluta, o que proporcionam resultados com precisões muito otimistas. A adoção de análises adicionais e a implementação de aplicativos podem reduzir esses problemas. Sendo assim, foi desenvolvido na FCT/UNESP um *software* de ajustamento de redes GPS, visando atender de forma confiável os requisitos da Lei 10.267/2001. Dentro deste contexto, neste trabalho foram realizadas análises de ajustamentos de redes GPS, utilizando injunções posicionais absolutas e relativa. No caso desta última, os ajustamentos foram realizados considerando e não considerando as correlações entre as posições injuncionadas.

Palavras-chave: Posicionamento; Redes GPS; Modelo Estocástico.

¹ Uma versão prévia deste trabalho foi apresentada no II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas.

ABSTRACT

In the Brazil, several have been the applications of GPS and with the introduction of the Law 10.267/2001 that among other dispositions, it treats of the georeferencing of the rural parcels. However, most of the commercial softwares of processing and adjustment of GPS data doesn't allow that the users may evaluate their results in a reliable way. For example, the constraints are normally used as absolute, which provides results with very optimists precisions. The adoption of additional analyses and the implementation of softwares can reduce these kinds of problems. Thus, it was developed a software for adjustment of GPS networks, aiming to assist in a reliable way the requirements of the Law 10.267/2001. In this context, in this work it is analyzed the adjustments of GPS networks, utilizing absolute and relative constraints. In the case of the last one, the adjustments were accomplished considering and not considering the correlations among the coordinate positions.

Keywords: Positioning; GPS Network; Stochastic Model.

1. INTRODUÇÃO

A lei 10.267/2001, publicada no Diário Oficial da República Federativa do Brasil – nº 166 – Seção 1 – Brasília, 29 de agosto de 2001, que trata do georreferenciamento de imóveis rurais, dentre outras disposições, foi estabelecida em 28 de agosto de 2001 e consiste num marco da organização territorial brasileira das áreas rurais. A apresentação dos vértices da propriedade na planta e no memorial descritivo deve estar no sistema de projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*), cuja precisão posicional estabelecida pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) deve ser melhor que 0,50 metros a um nível de confiança de 1 sigma. Nesse caso, o nível de confiança ($1 - \alpha$, α = nível de significância) corresponde a um desvio-padrão (1 sigma), ou seja, 68,3% (INCRA, 2003; PORTARIA nº 954, 2002).

Um fator importante que deve ser levado em consideração é o termo precisão posicional, o qual está relacionado à resultante das coordenadas. Sendo assim, é necessário analisar a precisão de cada componente, bem como da resultante.

Para a realização do georreferenciamento de imóveis rurais, podem ser utilizadas várias metodologias. No caso de posicionamento com receptores GPS, diversos são os métodos factíveis de serem utilizados, onde se pode classificá-los como Posicionamento Estático e Cinemático, ou ainda como DGPS (*Differential GPS*). No método estático, há dois modos de posicionamento: o relativo e o posicionamento por ponto preciso (PPP), sendo este último também denominado posicionamento absoluto.

No posicionamento relativo cinemático convencional, onde apenas duas estações são envolvidas, a precisão é da ordem de poucos centímetros, dependendo da distância em relação à estação base. Dispondo de um sistema de comunicação, pode-se realizar posicionamento em tempo real RTK (*Real Time Kinematic*)

(MONICO, 2000). Porém, devido a decorrelação espacial dos erros, principalmente devido à ionosfera, a distância entre a estação de referência e o usuário, no posicionamento RTK convencional, é geralmente limitada a 20 km ou menos. Dessa forma, tem sido investigado o conceito de RTK em rede, o qual utiliza uma rede de estações de referência. Nesse tipo de posicionamento, os dados das estações de referência da rede são utilizados para gerar as chamadas “correções da rede”, ou até mesmo, dados de uma estação localizada nas proximidades do usuário, denominada *Virtual Reference Station* (VRS) (ALVES et al., 2005).

No geral, realiza-se o levantamento no modo pós-processado, no qual se utilizam *softwares* comerciais ou científicos de processamento de dados GPS. Primeiramente, são processadas todas as linhas de bases individualmente e, posteriormente, pode-se realizar o ajustamento de uma rede GPS, quando o *software* fornece tal opção.

A maioria dos *softwares* comerciais não permite que se introduzam as incertezas das coordenadas dos pontos de controle (injunção absoluta), seja no processamento das linhas de base ou no ajustamento de redes GPS. Logo, os resultados fornecidos por estes *softwares* são extremamente otimistas, visto que as incertezas das coordenadas dos pontos de controle não são propagadas para as coordenadas a serem determinadas.

A adoção de algumas análises adicionais, juntamente com a implementação de um aplicativo para ajustamento de redes GPS, pode reduzir esses problemas. Sendo assim, foi implementado em linguagem de programação C++ Builder um *software* de ajustamento de redes GPS denominado AJURGPS, de modo a atender de forma confiável os requisitos da Lei 10.267/2001 sobre o georreferenciamento de imóveis rurais.

Esse aplicativo realiza a leitura de arquivos de vetores de linhas de base de redes GPS processadas pelos *softwares* GPSurvey e TGO (*Trimble Geomatics Office*) da Trimble, SKI-PRO da Leica e GPSeq (em desenvolvimento na FCT/Unesp). Além do ajustamento da rede, ele permite que o usuário realize o controle de qualidade através do teste global Qui-quadrado e também a detecção de erros grosseiros através dos métodos *Data Snooping* de Baarda e teste *Tau*. Uma das vantagens do AJURGPS é que este considera as informações estocásticas no ajustamento. Outra vantagem é quanto à sua implementação, a qual utilizou conceitos de matrizes esparsas e de listas lineares.

Com o AJURGPS o usuário pode realizar o controle de qualidade do ajustamento verificando o cálculo de redundâncias parciais. Para uma melhor visualização e análises dos resultados, o AJURGPS realiza algumas transformações entre coordenadas (cartesianas, curvilíneas e UTM), além de disponibilizar a visualização (desenho) da rede.

Para verificar e analisar os resultados obtidos pelo AJURGPS foram realizados alguns ajustamentos, os quais incluíram a comparação de resultados obtidos no

AJURGPS com resultados advindos do *software* TGO, análise das precisões e controle de qualidade.

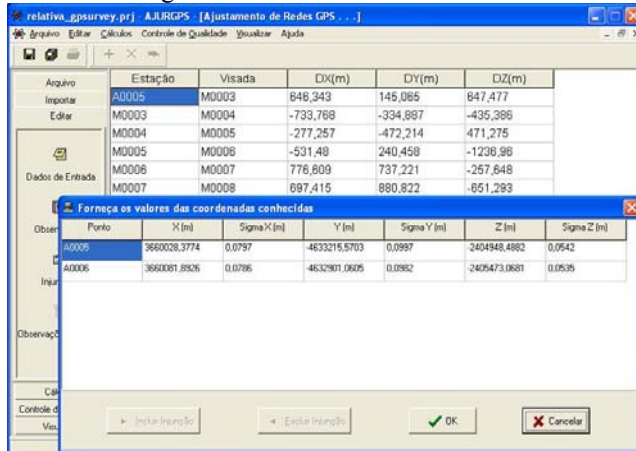
2. SOFTWARES DE PROCESSAMENTO DE DADOS E AJUSTAMENTO DE REDES GPS

Nem todos os *softwares* comerciais disponíveis no mercado realizam o ajustamento da rede envolvendo diretamente os dados GPS. Em geral, processa-se cada linha de base individualmente e adotam-se, como observáveis no ajustamento da rede, as componentes ΔX , ΔY e ΔZ das várias linhas de base (ou azimuth, distância e diferença de elevação) associadas às respectivas matrizes de variância-covariância (MVCs) (MONICO, 2000). Dessa forma, quando o ajustamento da rede é realizado não se considera a correlação entre as várias linhas de base. Outro problema que ocorre com frequência na maioria desses *softwares* é a não consideração das variâncias e covariâncias dos vértices com coordenadas conhecidas, tratando-se assim de injunções absolutas.

No processo de ajustamento das observações, quando as injunções são absolutas, suas incertezas não são transferidas para os parâmetros incógnitos aos quais elas estão ligadas. Dessa maneira, a solução obtida, apesar de ser mais atraente por apresentar valores numéricos de dispersão menores, não representa a realidade, pois contrariam a lei de propagação das covariâncias. Porém, ao se utilizar injunções posicionais as incertezas das injunções são transferidas aos parâmetros incógnitos e por isso apresentam valores de dispersão maiores, porém, mais realísticos (MARINI, 2002 p. 69).

Devido a toda essa problemática envolvida no ajustamento de redes GPS, foi desenvolvido na FCT/Unesp de Presidente Prudente-SP o *software* AJURGPS. O AJURGPS realiza o ajustamento de dados GPS provenientes do processamento advindos dos *softwares* GPSurvey, TGO, SKI-PRO e GPSeq. A partir do AJURGPS o usuário tem a opção de ajustar a rede GPS com a introdução de injunções posicionais considerando ou não as correlações, ou seja, variâncias e covariâncias das injunções. Além disso, tem-se a possibilidade de realizar o controle de qualidade do ajustamento através do Teste Qui-quadrado (χ^2), também denominado teste da forma quadrática dos resíduos (VANÍCEK; KRAKOWSKY, 1986), para testar a qualidade global do ajustamento e o *Data Snooping* de Baarda para a detecção de erros grosseiros, caso ocorram. A Figura 1 mostra a interface principal do AJURGPS.

Figura 1 – Interface do AJURGPS.



3. AJUSTAMENTO DE REDES GPS

O ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) pode ser efetuado usando o modelo paramétrico (modelo das equações de observações), o dos correlatos (modelo das equações de condição) ou o combinado. Neste trabalho foi utilizado o método paramétrico para o ajustamento da rede GPS. Uma descrição detalhada sobre os modelos de ajustamento pelo MMQ e os métodos de ajustamento pode ser encontrada em Gemael (1994).

De posse das observações ΔX , ΔY e ΔZ , obtidas a partir do processamento das linhas de base, é realizado o ajustamento de redes GPS utilizando o método paramétrico. O modelo matemático para um levantamento de redes GPS é dado por:

$$\begin{aligned}\Delta X_{ij} &= X_j - X_i \\ \Delta Y_{ij} &= Y_j - Y_i, \\ \Delta Z_{ij} &= Z_j - Z_i\end{aligned}\quad (1)$$

onde, ΔX , ΔY e ΔZ são as observações advindas do processamento GPS e X , Y e Z as incógnitas.

O modelo matemático das observáveis na forma linearizada pode ser escrito como (MONICO, 2000):

$$E\{L_b\} = AX, \quad (2)$$

$$D\{L\} = \Sigma_{L_b}, \quad (3)$$

onde:

L_b – vetor das observações;

A – matriz *design* (formada pelas derivadas parciais das equações de observação em relação às incógnitas que são os parâmetros);

X – vetor parâmetros incógnitos;

$D\{L\}$ – operador de dispersão;

Σ_{L_b} – a matriz variância-covariância (MVC) das observações.

A matriz peso e o vetor dos parâmetros ajustados são representados, respectivamente, por:

$$X_a = (A^T P A)^{-1} (A^T P L_b), \quad (4)$$

$$P = \sigma_0^2 \Sigma_{L_b}^{-1}. \quad (5)$$

As MVCs envolvidas no ajustamento são expressas por:

$$\Sigma_{X_a} = \hat{\sigma}_0^2 N^{-1}, \quad (6)$$

$$\Sigma_{L_a} = A \Sigma_{X_a} A^T, \quad (7)$$

$$\Sigma_V = \Sigma_{L_b} + \Sigma_{L_a}, \quad (8)$$

onde:

Σ_{X_a} - MVC dos valores ajustados;

Σ_{L_a} - MVC das observações ajustadas;

Σ_V - MVC dos resíduos.

A introdução de injunções no AJURGPS é feita na forma de pseudo-observações, acrescentando à matriz A as linhas correspondentes aos coeficientes e, na matriz peso as injunções absolutas ou relativas são definidas como sub-matrizes (MARINI, 2002).

O ajustamento em sua forma convencional utiliza matrizes de grandes dimensões. Com o objetivo de otimizar os cálculos, foram implementadas subrotinas, em linguagem de programação Fortran que trabalham de forma vetorizada. Elas foram desenvolvidas pelo Prof. Dr. João Francisco Galera Monico e são utilizadas em forma de DLLs (*Dynamic Link Libraries*) em um *software* para ajustamento de redes de nivelamento, denominado Ajunível (SILVA; MONICO, 2004). Para trabalhar com estas subrotinas no AJURGPS, foram introduzidas algumas modificações devidas, principalmente, às dimensões envolvidas.

A Tabela 1 mostra a dimensão das matrizes do ajustamento em sua forma convencional e em sua forma otimizada, sendo que n é o número de observações, u é o número de parâmetros.

Tabela 1 – Dimensões das matrizes no ajustamento.

Matrizes	Dimensão na forma convencional	Dimensão na forma otimizada
A	$n \times u$	$(n*2) \times 1$
P	$n \times n$	$n \times 1$
$L=L0=Lb$	$n \times 1$	$n \times 1$
$\Sigma_{X_a} = N$ (simétrica)	$u \times u$	Triang. sup. em forma de vetor ($u*(u+1)/2$)
$V=U=Xa$	$u \times 1$	$u \times 1$

Na Tabela 1 pode-se verificar a otimização na dimensão das matrizes envolvidas no ajustamento. Desta maneira, o programa utiliza uma quantidade menor de memória do sistema operacional e os cálculos são efetuados com maior rapidez. Um exemplo deste processo de otimização pode ser demonstrado com a geração da matriz A, que é a matriz de derivadas parciais do modelo matemático representado pela equação 1. A matriz A na sua forma convencional é composta por vários elementos nulos (A) e na forma otimizada (A_{vetor}) é composta somente com valores 1 e -1, sendo que a posição desses elementos na matriz A é armazenada em um vetor (Loca_A) e é representada da seguinte maneira:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$A_{\text{vetor}} = [1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \quad 1 \quad -1 \quad \dots], \quad (10)$$

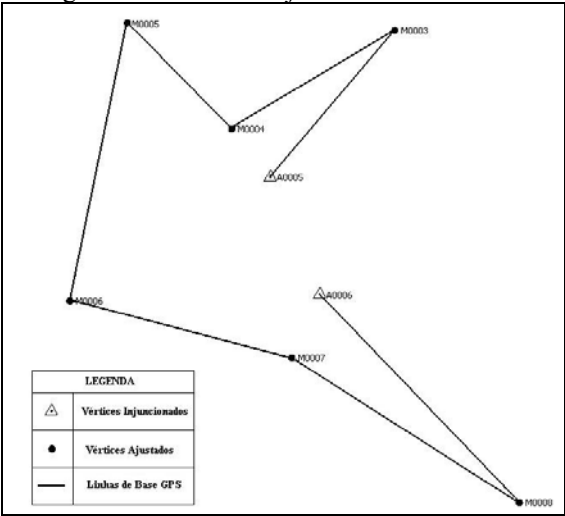
$$\text{Loca}_A = [1 \quad 4 \quad 2 \quad 5 \quad 3 \quad 6 \quad \dots]. \quad (11)$$

Mesmo com o processo de otimização descrito acima, ainda há uma desvantagem neste tipo de armazenagem de dados (vetor) na memória do computador, pois eles são armazenados seqüencialmente (estrutura estática) e, isto implica numa limitação do uso da memória do computador e conseqüentemente na quantidade de observações a serem utilizadas no ajustamento. Visando melhorar este problema foi implementado no AJURGPS o conceito de listas ligadas linearmente aplicadas a matrizes esparsas. Este conceito pode ser encontrado em Tenenbaum, Langsam e Augenstein (1995) e Knuth (1997).

4. EXPERIMENTOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS

Para testar o AJURGPS foi ajustada uma rede GPS a partir de dados processados no GPSurvey e no TGO. Esta rede foi obtida de um levantamento realizado no assentamento Florestan Fernandes na região do município de Presidente Bernardes-SP (LEITE; SOUZA; ANJOLETE, 2005). A Figura 1 apresenta a configuração da rede:

Figura 1 – Rede GPS ajustada no AJURGPS.



No ajustamento da rede, os vértices A0005 e A0006 (Figura 1) tiveram suas coordenadas injuncionadas de maneira que a rede foi ajustada considerando injunções absolutas, injunções relativas sem covariâncias e finalmente injunções relativas com covariância.

Depois de realizados todos os ajustamentos, obtiveram-se as informações relacionadas ao controle de qualidade a partir do teste Qui-quadrado, como pode ser visto na Tabela 2:

Tabela 2 – Qualidade dos ajustamentos realizados.

Testes	Fator de variância a posteriori ($\hat{\sigma}_0^2$)	χ^2_{calc}	χ^2_{tab}	Ajuste aceito ao nível de confiança de 95%?
Injunção Absoluta	3,9983	95,9593	36,4164	NÃO
Injunção Relativa Sem Correlação	0,0195	0,4688	36,4164	SIM
Injunção Relativa Com Correlação	0,0231	0,5547	36,4164	SIM

Na Tabela 2 pode-se observar que o fator de variância a posteriori teve o valor de 3,9983 com a utilização de inunção absoluta, sendo que com o uso de inunção relativa este valor reduziu para 0,0195 e 0,0231 sem correlação e com correlação, respectivamente. Nota-se também que somente nos casos com inunção relativa o ajustamento foi aceito no Teste Qui-quadrado a um nível de confiança de 95% de probabilidade.

As precisões posicionais, ou seja, a resultante das precisões em X, Y e Z ($\sigma_{\text{Posicional}} = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2}$), obtidas a partir da MVC das coordenadas (X, Y e Z) ajustadas podem ser visualizadas na Tabela 3:

Tabela 3 – Precisão posicional das coordenadas ajustadas pelo AJURGPS.

Vértices	Inunção absoluta (mm)	Inunção relativa sem covariância (mm)	Inunção relativa com covariância (mm)
A0005	3,1411	13,6090	13,7427
A0006	3,1411	13,6088	13,7424
M0003	3,5986	13,6090	13,7427
M0004	4,2234	13,6090	13,7427
M0005	4,7406	13,6090	13,7426
M0006	4,8466	13,6090	13,7426
M0007	5,0024	13,6089	13,7426
M0008	4,3279	13,6088	13,7425

Ao analisar a Tabela 3, verifica-se que ao utilizar inunções absolutas, a precisão posicional das coordenadas ajustadas teve o valor máximo de 5,00 mm e o mínimo de 3,14 mm. No caso da inunção relativa sem covariância, esses valores ficaram em torno de 13,61 mm. Já para inunção relativa considerando a covariância a precisão posicional ficou em torno de 13,74 mm.

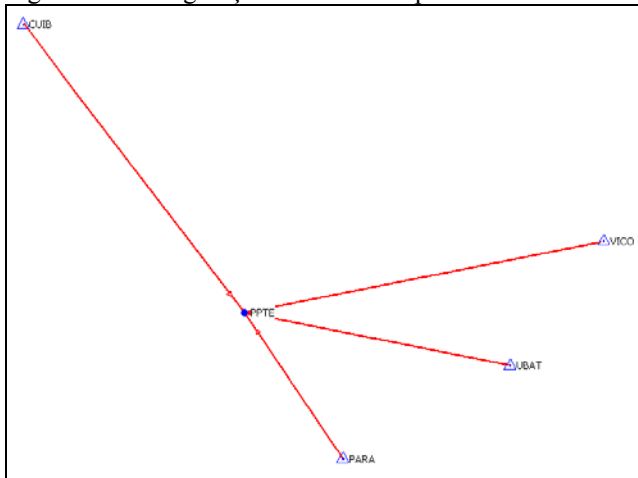
Dessa forma, confirma-se que ao utilizar inunções absolutas, embora os valores das precisões posicionais das coordenadas ajustadas sejam mais atraentes, esses são muito otimistas. Já na utilização de inunções relativas, seja com ou sem covariância, os valores das precisões posicionais após o ajustamento são mais condizentes com a realidade.

4.1 Comparação dos Resultados do Ajurgps com o TGO

Com o intuito de analisar a capacidade de ajustamento de redes no AJURGPS, foi escolhida uma rede formada de estações pertencente a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), cujas linhas de base tem comprimento em torno de 800 km (Figura 2).

As coordenadas da estação PPTE foram determinadas a partir das coordenadas de outras quatro estações, sendo elas denominadas CUIB, PARA, UBAT e VICO.

Figura 2 – Configuração da rede GPS pertencente a RBMC.



Esta rede foi ajustada tanto no AJURGPS quanto no TGO (disponível na FCT/UNESP). Vale ressaltar que o TGO transforma as componentes cartesianas do vetor das linhas de base nas observações de azimuth da seção normal, distância e diferença de altitude geométrica, sendo os modelos matemáticos não-lineares. Já no AJURGPS, os modelos matemáticos envolvidos no ajustamento são lineares, o que por si só deve causar diferenças nos resultados do ajustamento da rede.

Após os ajustamentos os resultados da estação PPTE foram comparados com as coordenadas oficiais do IBGE (www.ibge.gov.br/geodesia/geociencias). Vale enfatizar que o *software* TGO não permite a introdução das precisões das injunções.

Após o ajustamento no TGO, verificou-se que não foram detectados erros a partir do teste *Tau* e o mesmo ocorreu para o ajustamento no AJURGPS. Verificou-se também que ambos os ajustamentos não passaram no teste Qui-quadrado ao nível de confiança $1 - \alpha = 95\%$.

Com relação aos fatores de variância a posteriori, estes tiveram valores bem diferentes no TGO e no AJURGPS, sendo de 9,98 e de 46,9844, respectivamente. Essa diferença pode estar relacionada ao fato do TGO efetuar o ajustamento com modelos não-lineares e com iterações (no caso deste ajustamento foram duas iterações), além disso, não se tem conhecimento a respeito da modelagem estocástica adotada pelo TGO. Já o AJURGPS trabalha com modelos lineares e, conseqüentemente, sem iterações. Outro fato é a possibilidade de introdução de injunções no AJURGPS, o que justifica os maiores valores.

Como não foram indicados erros grosseiros e assumindo que não há problemas com a modelagem matemática, entre outros fatores, o fato do ajustamento não ser aceito no teste global Qui-quadrado pode ser devido a problemas na modelagem estocástica. A solução para esse caso seria “relaxar” o modelo estocástico (estratégia

de ponderação), através da multiplicação de um escalar pela MVC das observações. Porém, considerando que no ajustamento realizado pelo TGO não se adotou nenhuma estratégia de ponderação, o mesmo foi feito para o ajustamento no AJURGPS. É importante ressaltar que a MVC dos parâmetros foi multiplicada pelo fator de variância a posteriori tanto no TGO quanto no AJURGPS.

Ao comparar as coordenadas da estação PPTE ajustadas pelo TGO e pelo AJURGPS com as coordenadas oficiais do IBGE em SIRGAS 2000, foram obtidas as discrepâncias, como podem ser vistas na Tabela 4:

Tabela 4 – Discrepâncias com relação às coordenadas oficiais da estação PPTE em SIRGAS 2000 (IBGE).

Ajuste	ΔLat $\Delta\sigma_{\text{Lat}}$	ΔLong $\Delta\sigma_{\text{Long}}$	ΔAlt $\Delta\sigma_{\text{Alt}}$
TGO	0,003 m 0,002 m	0,022 m 0,005 m	0,018 m 0,012 m
AJURGPS com Injunção Relativa	0,003 m 0,087 m	0,022 m 0,063 m	0,011 m 0,092 m

Analisando a Tabela 4, nota-se que as maiores discrepâncias em coordenadas foram com relação à longitude, atingindo 0,022 m em ambos os *softwares*. Já para as discrepâncias em precisão os maiores valores foram com relação à precisão da altitude, atingindo 0,012 m no TGO e 0,092 m no AJURGPS.

Em resumo, no que diz respeito às discrepâncias em precisão, o AJURGPS proporcionou valores maiores que os do TGO. Isto decorre do fato do AJURGPS realizar o ajustamento considerando a injunção relativa, visto que dessa maneira, as precisões das coordenadas injuncionadas são propagadas para as coordenadas das estações incógnitas.

Portanto, ao analisar os resultados, nota-se que em relação às coordenadas, essas são praticamente as mesmas e apenas em relação às precisões é que houve maiores modificações. Os resultados das precisões obtidas com o software AJURGPS estão mais realistas, uma vez que abrangem as discrepâncias em relação ao valor considerado de referência, diferentemente dos resultados advindos do TGO. Isso vem de encontro com as normas técnicas do INCRA, na qual a precisão é o único elemento a ser analisado em atendimento à Lei 10.267/2001, cuja precisão posicional deve ser melhor que 0,50 m.

5. CONCLUSÕES

O aplicativo AJURGPS foi desenvolvido em ambiente C++ Builder e a otimização dos algoritmos foi feita a partir dos conceitos de listas lineares e matrizes esparsas visando o ajustamento considerando as informações estocásticas.

O AJURGPS permite o ajustamento de redes GPS a partir do processamento das linhas de base advindo dos *softwares* GPSurvey, TGO, SKI-PRO e GPSeq. Permite, ainda, o controle de qualidade utilizando o teste Qui-quadrado e o teste para a detecção de erros *Data Snooping* de Baarda, a transformação entre coordenadas e entre *Data*; e o desenho da rede com varias opções, como por exemplo, visualização das propriedades de um ponto selecionado e ampliação do desenho.

Visando testar o *software* desenvolvido foi ajustada uma rede GPS localizada no assentamento Florestan Fernandes em Presidente Bernardes-SP. O ajustamento foi realizado utilizando injunções absolutas e relativas com e sem covariâncias. Os resultados mostraram que na utilização de injunções absolutas, os valores das precisões posicionais das coordenadas são realmente otimistas, enquanto que na utilização de injunções relativas, seja com ou sem covariância, os valores das precisões posicionais apresentam-se mais realísticos.

Para realizar uma comparação entre o AJURGPS e outro *software*, no caso específico, o TGO, foi escolhida uma rede de estações que compõem a RBMC, cujas linhas de base possuem comprimento em torno de 800 km, visando realizar análises quanto a capacidade de ajustamento de redes no AJURGPS. Notou-se que as discrepâncias entre as coordenadas obtidas pelo AJURGPS e as coordenadas oficiais fornecidas pelo IBGE foram praticamente iguais às fornecidas pelo *software* TGO. Porém, quanto às discrepâncias na precisão, os valores do AJURGPS foram maiores que o do TGO, mostrando que quando se realiza o ajustamento considerando as informações estocásticas e as propagações nas transformações de coordenadas, este se torna mais fiel com a realidade.

O *software* está disponível para o público em geral no seguinte endereço da internet: <http://gege.prudente.unesp.br>.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelo apoio através de bolsa de iniciação científica à primeira autora (Processo nº 2005/01575-0).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D. B. M., SOUZA, E. M., FORTES, L. P., MONICO, J. F. G. *Formulação Matemática para o Cálculo da VRS no RTK em Rede*. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2005, Macaé, RJ, Anais...

BRASIL. *Portaria nº 954*, de 13 de novembro de 2002. Diário Oficial – Nº 222 – Seção 1, segunda-feira, 18 de novembro de 2002. Disponível em <<http://www.incra.gov.br>>. Acesso em 06 de set. de 2005.

BRASIL. *Lei n. 10.267*, de 28 de agosto de 2001. Altera dispositivos das Leis n. 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, n. 166, Seção 1, 29 ago. 2001.

GEMAEL, C. *Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas*. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

INCRA. *Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais*. Brasília, Nov. 2003.

KNUTH, D. E. *The Art of Computer Programming: Fundamental Algorithms*. 3rd ed. Massachussets: Addison-Wesley, 1997. 650p.

LEITE, C. C. P., SOUZA, C, R. R., ANJOLETE JÚNIOR, N. *Metodologias para Levantamentos de Propriedades Rurais para Atender a Lei 10.267/2001*. 2005. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP, 2005.

MARINI, M. C. *Integração da Rede GPS ITESP ao Sistema Geodésico Brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2002.

MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações*. São Paulo: Editora Unesp, 2000. 287p.

MONICO J. F. G. *Ajustamento das observáveis GPS no contexto de posicionamento geodésico*, Tese de Livre Docência, - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2005.

SILVA, H. A., MONICO, J. F. G. *Integração de Linguagens de Programação*. Relatório interno de estágio não-obrigatório - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.

TENENBAUM, A. M.; LANGSAM, Y.; AUGENSTEIN, M. J. *Estruturas de dados usando C*. São Paulo: Makron Books, 1995. 884p. Tradução de: SOUZA, T. C. F. VANÍCEK, P.; KRAKIWSKY, E. J. *Geodesy: the concepts*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V., 1986.

(Recebido em novembro de 2008. Aceito em junho de 2009).